



# 土木工程與自然

洪如江／國立臺灣大學土木工程學系 名譽教授、中國土木水利工程學會 會士

## 導 論

兩千多年前老子（604BC-531BC）*道德經*（二十五章）遺訓：

「人法地，地法天，天法道，道法自然。」

這段文字之中，**道**這個字，最難有簡單而明確的定義。老子也說：「有物混成，先天地生。寂兮寥兮，獨立而不改，周行而不殆，可以為天下母，吾不知其名，字之曰道。」

這段文字之中的「有物混成」及「先天地生」，就可以判斷所謂的「道」，應該就是「宇宙」（Universe）。宇宙這一名詞，在老子時代還沒出現，所以老子才會說「吾不知其名，字之曰道。」

因此，前面所引用的老子遺訓，試譯如下：

「人遵循地球的法則，地球遵循天的法則，天遵循宇宙的法則，宇宙遵循自然的法則。」

但必須指出，**道**這個字，筆者在*道德經*之中找到 67 次之多，用途廣泛，不只限於定義宇宙。在*林語堂中英對照 — 老子的智慧*（2009 正中書局出版）一書之中，就有英譯為：truth、path、road、art、way、等多種。

天文物理學家對自然界的觀察，大到以哈伯天文望遠鏡（Hubble Space Telescope）所觀察的宇宙內星系；小到以大哈得龍對撞機（Large Hadron Collider，重約 30,000 噸）找到的所謂上帝的粒子（The God's Particle）**Higgs bosson**。在法則研究方面，出現牛頓重力定律、愛因斯坦相對論定律、量子定律、量子重力定律、等等自然法則，（Law of Nature）。

土木工程與自然的交會，主要在地球表層（陸地地層、水域、岩漿活動帶、噴泉、生物）及空域（引力，陽光，空氣中的雲、雨、雪、風、懸浮微粒）。

但不少人，尤其是握有權力的人，以為人可勝天，在地球上胡作非為，危害眾生（包括人類）。杜牧*阿房宮賦*（825AD）：「蜀山兀，阿房出」，揭露秦皇島為建阿房宮而砍光蜀山樹木的惡行。埃及、馬雅、等等古文明，多因迷信、建設雄偉的**金字塔**、**神廟**、消耗龐大天然資源，走上滅亡之途。目前，更有不少國家，以建設為名，過度開發，上山破壞國土，在平地傾力建造數以十萬戶，甚至於百萬戶的**摩天大樓空屋**（一般稱之謂混凝土叢林，筆者稱之謂現代**金字塔**），消耗國土資源，以年青人買不起住宅而不敢結婚生子為代價；更嚴重的是：以毒霾害人。

西方學者，例如 Ian L. McHarg（1992），在 *Design With Nature* 一書（244 頁），除了一再呼籲重視環境保護的必要，多次推崇東方人“Tao, Shinto or Zen”（道家、神道、禪宗）的思想；並認為 18 世紀以來英國景觀（landscape）設計，受到這種思想的影響。該書並以大篇幅，就各類型的開發提出理論及個案分析，值得參考。

胡勝正（國 94 年）在行政院經濟建設委員會發行的*悲歌美麗島*一書（齊柏林攝影，陳慧屏撰文）的序中第一段文字：

「台灣經濟快速發展的背後，由於長期對自然資源保護的不足及配合經濟發展需要而造成過度開發，國土資源遭受到難以復原的傷害。」

該書的封面照片，顯示南投縣仁愛鄉清境農場地區民宿超限利用。圖 1 及圖 2 的照片，為齊柏林先生乘坐小型飛機冒險拍攝，贈予筆者，顯示表土裸露及泥沙淤積霧社水庫的慘狀。

中國土木水利工程學會（民國 94 年會）編著出版的

《土木與環境》（700 多頁），從全球環境變遷、土城開發、各類土木工程與環境、到環境問題的人文社會層面，深入的討論。其中，第十章大地工程與環境，由筆者撰寫。

洪如江（國 95 年）《天、地、人與大地工程》一書（153 頁），127 張圖片（大多為實景照片；範圍最大



圖 1 南投縣仁愛鄉清境農場民宿超限利用，表土嚴重流失，進入霧社水庫（齊柏林攝贈，民國 97 年 11 月）

者為空拍照片；範圍最小者為偏光顯微鏡所拍攝的岩相，約  $0.7\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ ），以增進土木工程師對大地巨觀與微觀特徵的了解。

本文，簡要陳述土木工程與自然的衝突與和諧之道。



## 道路工程與自然

### 引言

人類為了克服自然界空間（距離、地形、等等）與時間的障礙，因此需要建造道路、機場、與海港；但是當這些工程的數量及規模擴充到某一個程度之後，工程本身（包括施工過程與完工後的工程結構物）以及人類使用工程的結果，與自然的衝突也就顯現，而且日益加劇。選擇幾項最重大的衝突，加以討論。

### 道路工程與自然生物多樣性

許多研究物種滅絕的學者（例如 Thomas *et al.*, 2004；Pounds, J. Alan and Puschendorf, Robert, 2004）常引用 Rosenzweig（1995）關於物種數量與棲地面積的關係式：

$$S = cA^z \quad (1)$$

式中， $S$  為物種數量， $A$  為生物棲地面積， $c$  與  $z$  為常數。(1) 式顯示生物棲地面積變小則物種數量變少。

台灣西部山麓及平原，在遠古時代，遍野都是梅花鹿與樟樹；其他物種之豐富，不在話下。

圖 2 清境農場民宿超限利用，表土嚴重流失，導致霧社水庫嚴重泥沙淤積（齊柏林攝贈，民國 97 年 11 月）

今天台灣的西部平原，佔台灣本島土地面積的四分之一左右；用來容納絕大部分的城鎮、農田、與工廠，已經顯得非常擁擠；偏偏我們的交通運輸系統，採用超級大陸國家（尤其指美國）的公路系統，不厭其多，不厭其寬，包括縱貫公路、中山高速公路、第二高速公路、西濱快速道路、台3線公路、12條東西向快速道路、省道、縣道、與鄉道。這許多公路系統，再加上縱貫鐵路與高速鐵路，不但佔用龐大面積，更

重要的是：西部平原的生物棲地（以及農業用地）被切割得支離破碎（圖3），每一塊生物棲地都變得非常之小。根據式(1)，生物棲地面積  $A$  變小，必然導致物種數量  $S$  的減少，意即造成部分物種的滅絕。

針對道路切割生物棲地的問題，建適當數量的生物通道，例如跨越道路的高架橋（圖4）或貫穿道路的生物廊道（圖5），讓野生動物不受公路切割；或在路側補建適當數量的生態濕地或生態池（圖6）。



圖3 道路將生物棲地切斷得支離破碎（連永旺攝）



圖4 跨越公路之頂建立一個野生動物高架橋通道，使公路兩側之生物棲地相連



圖5 台78（台西古坑）線公路之排水涵洞兼生物廊道（謝潮儀與林孟立，2004）→



圖6 國道六號高速公路生態池，提供生物多樣性的環境（洪如江攝）

北歐芬蘭的拉普蘭地區，公路的規劃、設計、與使用，野生動物（尤其是馴鹿，reindeer）也有權上公路。汽車駕駛在遠距離發現時，立刻降低車速；在近距離相遇，停車等待（或下車商量）馴鹿離開車道（圖7）。

### 山區道路工程與自然

Doug Helken (1997) 根據美國在其西北部太平洋海岸山脈歷時四百多年 (1556-1976) 的調查發現：砍伐森林所引發的坍方（數量、體積）約為森林自然坍方的10倍，而開路上山所引發的坍方（數量、體積）約為森林自然坍方的100倍。



圖7 眾生平等文明的土木工程：北歐拉普蘭 (Lapland) 地區公路的規劃、設計、與使用，都保留野生動物上路面的權利 (洪如江攝)

台灣山區公路開通之後，隨之而起的是：濫墾、濫伐、濫開產業道路、濫建。而執政黨為了選票，多視若無睹。《大自然雜誌》第79期 (潘富俊，2003.04.29) 報導了中部橫貫公路開通之後所發生的慘狀以及種種生態浩劫，並且發出「中華民國的治權不及於大陸也不及於中橫公路？」的感嘆。圖8示中部橫貫公路開通之後梨山地區的慘狀。圖9示中部橫貫公路梨山段下邊坡果園與受害的德基水庫。

圖10示台21線公路水里玉山線開路之後的慘狀。類似的案例非常之多。而且，山區公路多開闢雙車道，每一車道的路幅多比照平地的3.5公尺或更寬。

台灣的大地，因板塊運動的活躍，地形又還在幼年期，各主要河川兩岸的解壓節理（裂縫）都非常發



圖8 中橫公路開通之後梨山地區遭受濫墾的慘狀 (洪如江攝)



圖9 中部橫貫公路梨山段下邊坡因濫墾種植果樹致表土流入德基水庫的慘狀 (洪如江攝)

達，以至於河道一直再變寬，沿河岸開闢的公路經常在地震或豪雨時崩塌。

圖 11 為中部橫貫公路谷關德基段馬陵三號隧道東口在 921 地震（民國 88 年 9 月 21 日）前的照片，多位中外學者正在外側隧道口會勘。其內側隧道口外的落石棚（俗稱明隧道）列柱隱約可見。圖 12 示該隧道東口在 921 地震之後的景象。由二圖都可以看到大致平行河岸的許多大小解壓節理（裂縫）。中部橫貫公路谷關德基段中斷至今已經 18 年，尚難修復至 921 地震前的制式公路。

義大利山區公路（圖 13），路幅只有 1.5 車道，而在定距離設路幅較寬的會車道或休息站。山地風景區，只有步道（圖 14），兩頭距離足夠一日遊；上午登山利用纜車，傍晚下山後乘坐遊覽車會回旅館。

瑞士，因為公路不足，影響法、德兩國與義大利之間的貨運，而備受三國批評。但瑞士人民，為避免破壞自然環境（景觀、空氣污染、土地污染），一致反對增闢公路，而以龐大財力與人力建設長隧道（總長度 150 多公里，最長的 Gotthard Base Tunnel 長達 57 公里，次長的 Lotschberg Base Tunnel 長 34.6 公里，最短



圖 10 開路上山的後果，新中橫公路水里玉山線大回頭彎（洪如江攝）

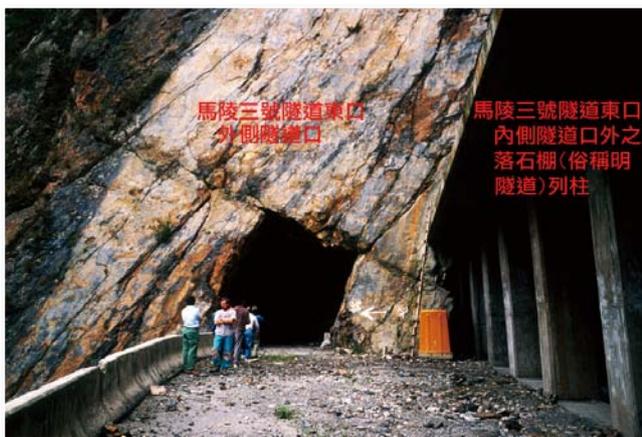


圖 11 馬陵三號隧道東口外側岩坡之解壓節理，921 大地震之前（洪如江攝）

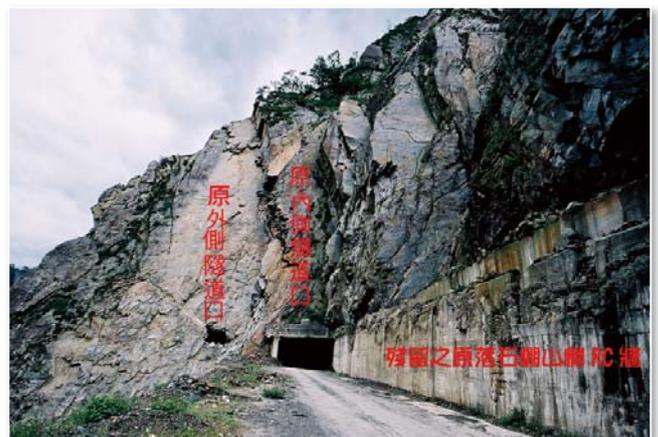


圖 12 馬陵三號隧道西口岩坡之解壓節理，921 地震後（洪如江攝）



圖 13 義大利山區公路，路幅只 1.5 車道，定距離設會車道或休息區，減少對自然的破壞（洪如江攝）



圖 15 纜車系統替代開闢高山公路，瑞士（洪如江攝）



圖 14 義大利山區風景區只有碎石步道，反而可以吸引許多觀光客（洪如江攝）



圖 16 瑞士在阿爾卑斯山區採用電氣化鐵路（加鐵鍊拉力），用地小，污染少（倪勝火先生攝）

的 Ceneri Base Tunnel 長 15.4 公里）貫穿阿爾卑斯山，供高速鐵路使用。其山區道路，多採用纜車（圖 15）及電氣化鐵路（車道路幅遠小於公路）登山（圖 16）。少數山區公路，也多採用棧橋連接隧道的方式（圖 17），避免開挖山坡。台灣北宜高速公路某一段，通過坡地，採用棧橋（圖 18），是與自然和諧的好例子。

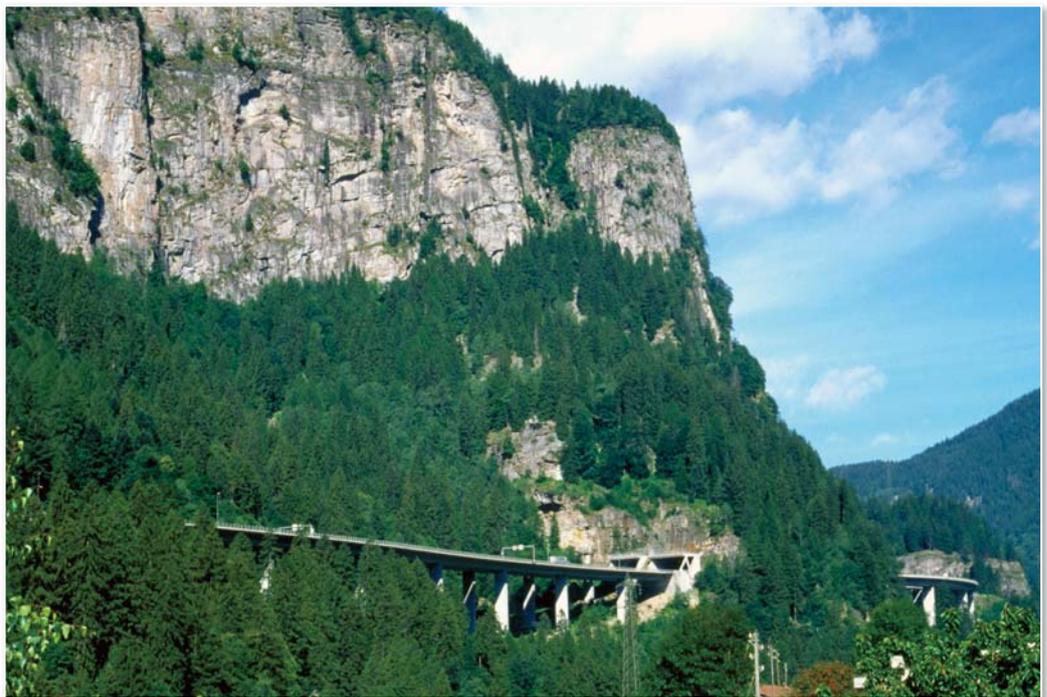


圖 17 瑞士山區道路多採棧橋與隧道以避免大挖大填（洪如江攝）



圖 18 北宜高速公路採用棧橋，避免大挖大填，與自然和諧（洪如江攝）



圖 19 汐止下游的基隆河狹窄河道塞入許多橋墩（洪如江攝）

### 道路橋樑工程與自然

不少河川，橋樑密集，橋墩太多（圖 19），建在河道狹窄處且橋面太低，其橋孔面積難以讓颱風豪雨所引起的洪流通過，更無法允許土石流的通過。橋樑，宜建橋孔高且寬大的拱橋（圖 20）或吊橋（圖 21），避免橋面太低，避免（或減少）在河道之中樹立橋墩，以免阻礙洪水或土石流。日本明石海峽大橋（圖 22），兩個主橋墩之間的距離已經長達 1991 公尺。避免或減少河道中建立橋墩在工程技術上已經不是問題。



圖 20 馬槽橋之橋孔夠高夠寬不妨礙土石流通過（洪如江攝）

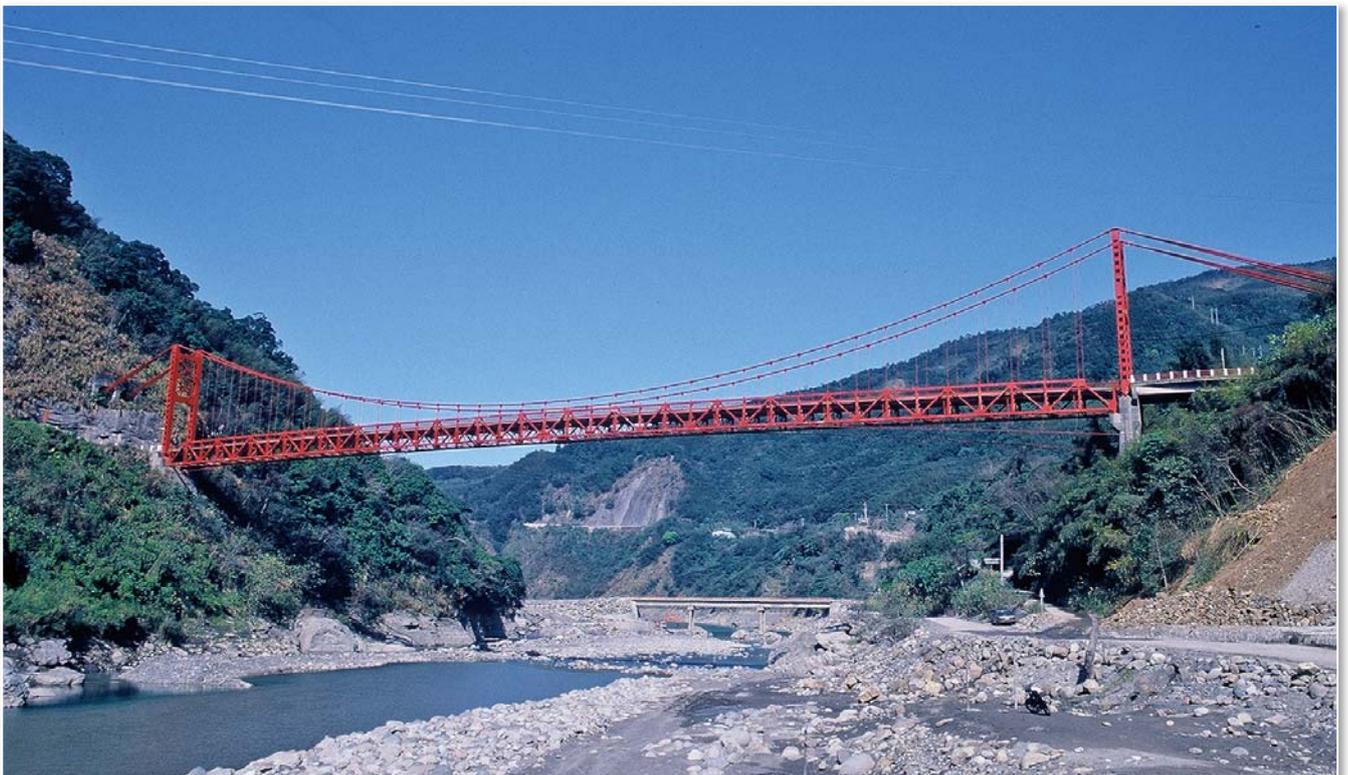


圖 21 北部橫貫公路復興吊橋（陳文奇老師設計，學生洪如江攝）



圖 22 日本明石大橋，主跨 1991 公尺，避免在水域中多建橋墩（洪如江攝）

### 道路工程與環境

在台灣，每人利用道路每一公里所消耗的能源，換算成費用，以元 / 人公里計，大致相對如下：

高速鐵路	約 0.10 元 / 人公里
台北捷運系統	約 0.25 元 / 人公里
公路（大型客運車）	約 1 元 / 人公里
公路（小型客車）	約 4-6 元 / 人公里

不同道路每公里長度所使用地面土地面積，以公頃 / 公里計，大致相對如下：

高速鐵路	
台北捷運系統	1.75 公頃 / 公里
公路，國道 3 號	9.37 公頃 / 公里
公路，國道 5 號南港蘇澳段	5.42 公頃 / 公里

工程施工，類似人體開刀，對環境污染嚴重；完工使用期間，車輛的噪音，影響範圍寬廣。汽車所排放的廢氣及固體微粒，污染公路兩側之空氣、土壤、與動植物。寬廣的混凝土與瀝青面積，在陽光照射之下，溫度升高且持久難以消退，令人難耐，甚至於危害野生動物的生命。工程壽命終結之後，拆除作業與廢棄物的堆放，也經常造成環境的污染。

由上列數據可知，公路系統消耗能源與需要使用（開挖）地面土地面積，遠高於軌道系統者。因此，公路系統對自然環境的傷害，對空氣污染的程度，也遠高於軌道系統者。燃燒柴油的大型汽車，其動力機器常未妥善維修；其廢氣污染的嚴重性，在公車道混凝土路面留下顯而易見的證據（圖 23）。

台北捷運系統，提供一個友善、安全、而潔淨的空間，讓台灣居民，自然而然地顯現善良的人性（圖 24 至圖 26）。而因為節省能源、不排放污染環境的廢氣、減少空氣與土地污染；讓台北的天空，只要沒有外來霾害，常見湛藍。



圖 23 燃燒柴油的大型汽車，在公車道混凝土路面留下顯而易見的證據（洪如江攝）



圖 24 台北捷運系統，提供安全及友善的人造環境，使用者自然流露出善良的人性（洪如江攝）



圖 25 台北捷運系統電車的博愛座：永遠虛位以待老弱婦孺（洪如江攝）



圖 26 乘坐輪椅的殘障人士，可以從地表人行道經無障礙系統直達地下捷運車廂（洪如江攝）

但長遠之計，應向瑞士、新加坡、丹麥、等等國學習，規定燃燒化石能源的汽、機車總量，甚至於預定終結日期，而鼓勵利用大眾捷運系統、電力推動的汽、機車，讓我們的天、地，更加清淨，也減少人命傷亡。

### 台灣東部海岸公路與自然環境

蘇花公路台灣島東海岸與太平洋海床的交界，是台灣島最大的斷崖。大斷崖西方是中央山脈或海岸山脈陡峭的東坡，東方是幾千公尺深的太平洋海床（圖 27）。由南向北遠距離拍攝清水斷崖的景觀示如圖 28；近觀其臨海的峭壁，可以見到高度發達的解壓節理（裂縫，圖 29）；已放棄的舊蘇花公路，改為步道，原意是希望遊客沿步道散步，可以觀賞太平洋波光，但因落石不斷（圖 30），空留遺憾。古蘇花公路內移且改鑿清水隧道（圖 31），不意清水隧道向東移動而且開裂，只好放棄內移，另鑿匯德隧道應用。

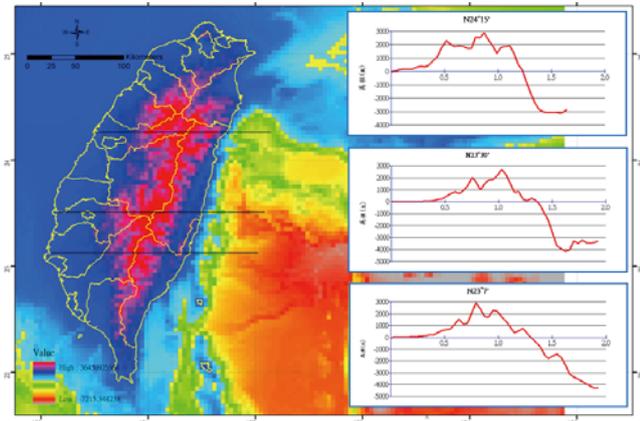


圖 27 台灣東海岸與太平洋海床的大斷崖。斷崖之西是山脈陡峭的東坡，斷崖之東是幾千公尺深的太平洋海床（根據美國 USGS TOPO 30 資料繪製）



圖 28 台灣東部清水斷崖（洪如江攝）



圖 29 解壓節理發達之蘇花公路海側峭壁（洪如江攝）



圖 30 蘇花公路臨海已棄用之車道（洪如江攝）



圖 31 已棄用之清水隧道的北口（洪如江攝）

民國 99 年 10 月 21 日，梅姬颱風 (Typhoon Maggie) 豪雨，台灣東海岸的蘇花公路 112K-116K 路段上邊坡坍塌（圖 32），公路多處被高速度的土石沖斷，20 多人連同車輛墜落太平洋而告失蹤，判斷已經遇難。

與蘇花公路平行的東部鐵路，每公里長度所使用地表土地面積與開挖體積，都遠遠小於公路者，所以相對穩定，極少發生坍塌災難。因此，筆者強烈建議多利用鐵路，以減少開挖陡峭坡地，而減少崩塌災害與旅客傷亡，並提高運輸功能。



圖 32 梅姬颱風豪雨（民國 99 年 10 月 21 日），蘇花公路 112K~116K 多處發生嚴重災害，20 多人連同遊覽車墜落海域失蹤（資料來源：國家災害防救科技中心，太空中心）

## 水庫及大壩工程與自然

壩體攔阻大量泥沙（圖 33），除了縮短水庫壽命之外，更使得河道下游、河口與海岸泥沙供應不足而致使自然環境失去平衡，例如：

- 橋樑基礎或堤防基礎裸露，造成落橋或堤防崩塌事件
- 海岸線後退

中國大陸新建大壩，多建排沙道，效果甚佳。

台灣石門水庫（民國 53 年建成）與曾文水庫（民國 62 年建成），泥沙淤積非常嚴重。曾文水庫正在積極建設排沙道。台北的翡翠水庫（請見參考文獻(3)圖 16），因禁止在水庫集水區開發，沒有泥沙淤積問題。

民國 19 年（1930）年建成的烏山頭水庫，曾文溪的離槽水庫（圖 34）；民國 81 年建成的鯉魚潭水庫，大安溪的離槽水庫（圖 35）；都沒聽說有泥沙淤積問題。



圖 33 集集攔河堰攔截大量泥沙於水庫之中（洪如江攝）



圖 34 烏山頭水庫（民國 19 年~），為曾文溪的離槽水庫，沒有嚴重泥沙淤積問題（經濟部水利處，2001；今之水利署）



圖 35 鯉魚潭水庫（民國 81 年~），為大安溪之離槽水庫，沒有嚴重泥沙淤積問題（經濟部水利處，2001；今之水利署）

## 城市工程與自然

人類文明誕生最重要的一個必須條件為文字的發明於城市之中。目前，全世界人口的 50% 以上，已經居住在城市之中。台灣人口的 80% 以上，已經居住在城鎮之中。

根據 Mayor of London（2012）World Cities Culture Report 的資料，世界上 11 個代表性城市的公共綠色空間百分比（% of public green space）如下：

- 新加坡（Singapore）47%
- 雪梨（Sydney）46%
- 倫敦（London）38.4%
- 約翰尼斯堡（Johannesburg）24%
- 柏林（Berlin）14.4%
- 紐約（New York）14%
- 巴黎（Paris）9.4%
- 東京（Tokyo）3.4%

- 上海 (Shanghai) 2.6%
- 孟買 (Mumbai) 2.5%
- 伊斯坦堡 (Istanbul) 1.5%

新加坡，公共綠色空間百分比高達 47%。在其「住者有其屋」政策下，建立 17 個英國式新市鎮 (New Town)，都有方便的聯外軌道式捷運系統及市鎮內接駁公車。市鎮之內有寬廣的公共綠色空間；市鎮外圍的快速車道，以多層次綠帶 (圖 36)，與住宅社區隔離，互相看不到，各安其境，一種非常高明的設計。參考公視製作，林盛豐教授採訪講解的「城市的遠見」影集 3. 花園城市：新加坡。

新加坡在 WEF 經濟競爭力排行榜之中，一直名列第二或第三。

倫敦，公共綠色空間百分比也高達 38%；其中，包括一個原始森林。市區中的多個公園，即使有步道，只鋪設粗砂 (圖 37)，既自然也透水。此外，倫敦外圍保留一個寬約 20 公里的永久綠帶，永久不得開發。



圖 36 新加坡快速車道側面，以多層次綠帶與住宅社區隔離，互相看不到，各安其境，是一種非常高明的設計 (周南山博士攝)

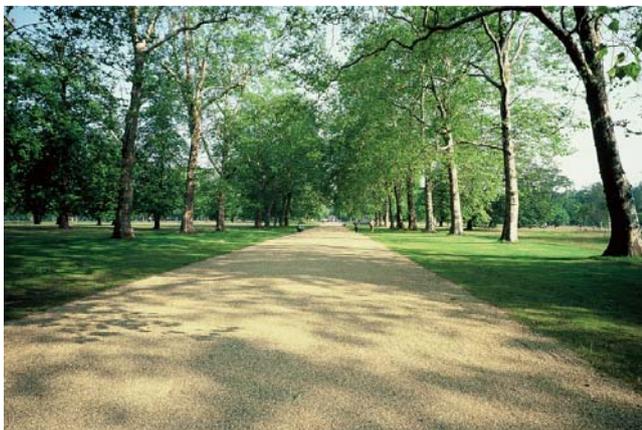


圖 37 倫敦海德公園步道，只鋪粗砂，既自然也透水 (洪如江攝)

香港 (圖 38)，土地面積近 1106 平方公里；已開發建設的土地約 270 平方公里，約佔全香港土地面積的 25%，集中在香港本島北部中環及新界的九龍 (圖 39)。土地的集約使用，75% 土地保留自然狀態給後代子孫。



圖 38 香港全部衛星影像。其已開發土地面積約 25% (Credit Google earth)



圖 39 香港極高密度開發地區：香港島中環，及新界的九龍 (Credit Google earth)

根據 Lelieveld, et al., (2015)，2010 年一些大城市因室外空氣污染而喪生的人數如下：

- 德里 19,700 人，上海 14,900 人，
- 北京 13,700 人，雅加達 10,400 人，
- 孟買 10,200 人，莫斯科 8,600 人，
- 開羅 6,000 人，東京 6,000 人，
- 洛杉磯 4,100 人，紐約 3,200 人，

倫敦 2,800 人，巴黎 3,100 人，  
香港 2,600 人，墨西哥市 1,600 人

城市公共綠色空間百分低的大城市，常因燃煤工廠（包括燃煤發電廠）與燃燒煤油或汽油的汽機車，噴灑有毒霧霾（尤其是 PM2.5），導致大量市民喪生。

台灣，面積 36,000 平方公里，人口 2,3002 多萬人，每平方公里人口密度近 650 人。各大城市的市區，公共綠色空間稀少，汽機車卻密集街道（圖 40）。

不但如此，台北市有三條河川（新店溪、基隆河、淡水河）環繞，是天賜美景。但是，卻到處建立防洪牆及高架橋（圖 41，圖 42），其惡果有：

- 阻擋居民親水活動的機會
- 高而龐大的高架橋也對居民及行人造成壓迫感，構成圍城效應
- 台北市變得醜陋不堪，消滅外國觀光客再來觀光的意願

巴黎賽納河畔，美而浪漫（圖 43）。

倫敦泰晤士河北岸「堤防，Embankment」開放而親水（圖 44）。

劍橋大學背景（The Backs）之一，康河（圖 45）及其兩岸寬廣的綠色草坪（圖 46），引發徐志摩的文思。



圖 40 台北市街頭的汽機車密集而且豪毫無秩序（洪如江攝）



圖 41 台北市新店溪岸防洪牆及高架橋，阻擋市民親水活動，而且造成壓迫感，構成圍城效應（洪如江攝）



圖 42 台北市基隆河岸防洪牆及高架橋，阻擋市民親水活動，而且造成壓迫感，構成圍城效應（洪如江攝）

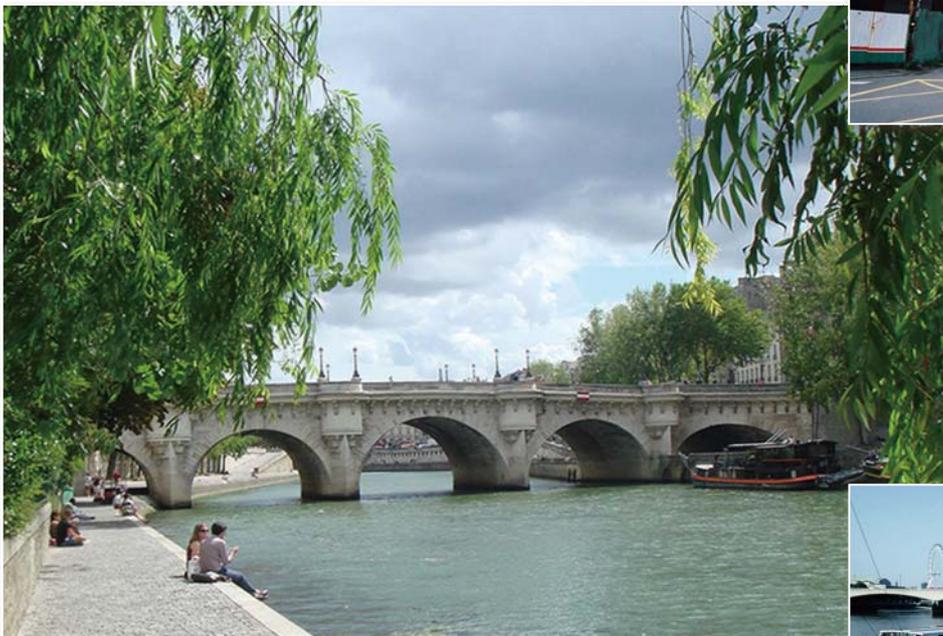


圖 43 美而浪漫的巴黎賽納河畔（王鶴翔攝）

圖 44 倫敦泰晤士河北岸「堤防，Embanlment」親水環境（洪如江攝）→





圖 45 英國劍橋大學康河的優美景緻 (洪如江攝)

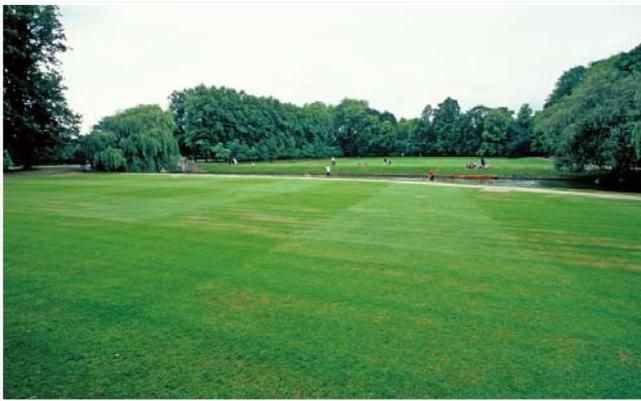


圖 46 英國劍橋大學康河兩側寬廣的草坪 (洪如江攝)

## 鄉村景觀與自然

鄉村，在鄰里範圍之內，只應該有步道，不應該建設汽機車通行的街道。鄉村，以大面積的樹林、草坪、與農地，構成綠色大地，吸收二氧化碳，排放新鮮氧氣，調節微氣候，而且顯現自然之美。

台灣的鄉村景觀設計，除了中興新村(圖 47)與宜蘭(圖 48)等少數個案之外，很少因妥善規劃與設計而顯現與自然和諧之美。但也有一些鄉村，因農耕(尤其是種植稻米)而出現的美景(圖 49)，百姓皆謂自然。金門古厝(圖 50)聚落，足以列入文化遺產而加以永久保存。

奧地利多瑙河側鄉村農家與其背後坡地葡萄園(圖 51)，共同構築一幅不單調的立體風景畫。



圖 47 中興新村住宅區 (洪如江攝)



圖 48 宜蘭鄉村風景 (洪如江攝)



圖 49 花東縱谷的農舍與水稻田的美景 (洪如江攝)



圖 50 金門古厝聚落，足以列入文化遺產而加以永久保存 (洪如江攝)



圖 51 奧地利多瑙河側鄉村農家及其背後坡地葡萄園，自然之美（洪如江攝）

英國傳統鄉村景觀設計，在 18 世紀開始受到中國道家思想及佛教禪宗思想的影響（參考 McHarg, 1992, *Design with Nature* 一書），趨向與自然和諧。Cotswolds 小村落（圖 52）、與湖區鄉村局部（圖 53），以大片植物展現村屋與自然和諧之美。圖 54 示英國 Anglesey 鄉村牧地，沒有工程構造物，也可以由羊群與寬廣的草地，發揮綠色大地的景觀之美及供應大量新鮮氧氣的功能。



圖 52 英國柯茲窩（Cotswolds）小村落一景（王義雄攝）



圖 53 英國湖區鄉村一景（莊世隆攝）



圖 54 英國 Anglesey 鄉村牧地一景（洪如江攝）

## 道法自然的土木工程

民國 88 年 921 地震，光復國中校舍幾乎全倒，椰子樹不倒（圖 55）。

Zhong 等 4 位學者（2017），發表在英國土木工程師學會會刊（Proceedings of the Institution of Civil Engineers）的論文，分析中國千年木塔，認為是效法竹子剛柔並濟的結構，得以經歷許多地震、雷擊及戰火，屹立至今。同一論文也認為台北 101 大樓之所以能夠承受 10 次地震及 17 次颱風風力作用而安然無恙，也是基於同一道理。

台北 101 大樓的結構設計，面對自然外力作用，了解其安全關鍵在於風力。因此，特別裝置一個風力控震器（圖 56），以平衡（消滅）風力的作用。

許多高樓結構設計，若了解其安全關鍵在於地震，則裝設含有多個隔震墊的隔震層，以隔絕地基上傳的地震波動。圖 57 示台灣大學土木工程學系新研究大樓的隔震層，一方面為大樓的結構安全，另一方面也為教學及研究。

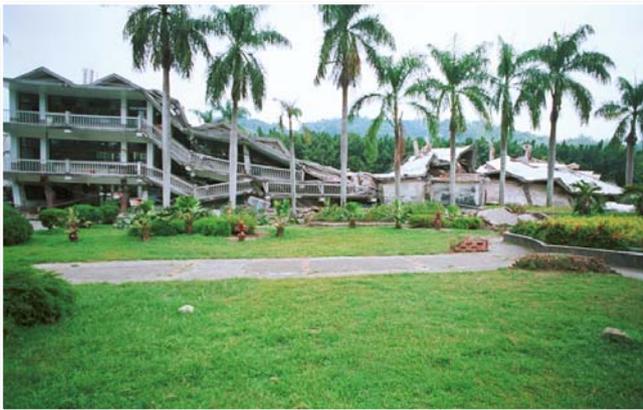


圖 55 民國 88 年 921 地震，光復國中校舍幾乎全倒，椰子樹不倒（洪如江攝）



圖 56 台北 101 大樓的風力控震器（洪如江攝）



圖 57 高樓隔震層，裝設多個隔震墊，以隔絕地基上傳的地震波動（洪如江攝於台灣大學新研究大樓）

道法自然的土木工程，應先了解地球表層（尤其是地形，地質，動、植物）及空域的靜態環境與動態演化，遵循其所有的自然法則，並多向自然學習；進而善用科技及作業，以基礎建設增益眾生福祉及人類和平且永續生存的理想。

### 誌謝

陳嘉正博士（Dr. Andrew Chan）提供最新參考資料，謹致謝意。

### 參考文獻

1. 洪如江（民國 94 年），大地工程與環境，土木與環境第十章，中國土木水利工程學會編著、出版，台北市。
2. 洪如江（民國 100 年 9 月），台灣大地重大斷裂帶的特性及演化與災難性岩土災害，*土工技術* 129 期，台北市。
3. 洪如江，民國 106 年 10 月，土木工程在世界文明演進的貢獻，中國土木水利工程學會會刊*土木水利*雙月刊第 44 卷第 5 期。
4. 齊柏林攝影，陳慧屏撰（民國 94 年），*悲歌美麗島*，行政院經濟建設委員會發行。
5. 經濟部水利處（2001，今之水利署），*台灣水之源：台澎金馬水庫壩堰簡介*，發行人黃金山，總編輯吳憲雄，編輯田巧玲、江明郎、謝文元。
6. Helken, Doug (1997), *Landslides and Clearcut: What Does the Science Really Say?*
7. Lelieveld, *et al* (2015), "The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale", *Nature* **525**, 367-371.
8. Mayor of London (2012), *World Cities Culture Report*.
9. McHarg, Ian L., 1992, *Design With Nature*, John Wiley, New York. 漢文譯本為：芮經緯譯，2006，*設計結合自然*，天津大學出版社，天津市。
10. Zhong, Jitao; Wang, Lai; Li, Yunfeng; Zhou, Man, 2017, Solving the mystery of China's thousand-year-old wooden pagoda, *Civil Engineering* Volume 170 issue CE4, Institute of Civil Engineering, London. 